

flag method 重要です。

動向

- ・最近は中性原子の measurement free(要調査) な protocol に焦点が当てられている
- ・Flag method の登場によって、シンドローム測定によって引き起こされるエラー訂正のためのアンシラの数に急激に減った

わかっていること

- ・ In quantum computing platforms supporting unconditional qubit resets, or a constant supply of fresh qubits, alternative schemes which do not require measurements are possible
- ・ 中性原子は秒単位で量子情報を維持できる Ref[1] ←!?
- ・ Rydberg interaction を用いた CZ gate の操作は、single qubit gate の操作よりちょっとだけ早い。
- ・ One limitation of neutral-atom platforms is state measurement, which is typically performed by inducing fluorescence and detecting the light emitted from the atoms.
- ・ Coupling the atoms to a cavity could speed up the times required for read out, at the cost of a loss of parallelism for single-mode cavities Ref[2][3].
- ・ Recently, fault tolerance was achieved by adopting elements of Steane-type error correction, by introducing an auxiliary register of qubits to be used as intermediary between data and ancillae Ref[4]
- ・ 基本的に Coherent Error Correction は Measurement Error Correction より振幅が小さくなる Ref[5]
- ・ 相関のあるエラーはシンドローム測定の順番に注意することで訂正することができる Ref[6]
- ・ flag method は、シンドローム測定の gate においてエラーが出てきた時に、CNOT によって伝搬したエラーのパターンを記録するために使う Ref[7]

問題

- ・ 中性原子では量子ビットを自由に動かして量子計算を実行できるが、一つ一つの動作に時間がかかりすぎる。
- ・ Feed-forward operations based on real-time measurements remain challenging ←測定にかかる時間だけで 500 μ s もかかる Ref[1]
- ・ 中性原子で 1 qubit だけ測定するのは、光が散乱したりして難しい Ref[5](in 2016)
- ・ Ref[5] の MF ではおそらく CNOT によって引き起こされるエラーは考えてない

思考

- ・ Rydberg interaction を用いて誤り訂正アルゴリズムを考えるのはこれからのトレンドになりそう (大予想)

REFERENCES

- [1] Stefano Veroni, Markus Müller, and Giacomo Giudice, Optimized measurement-free and fault-tolerant quantum error correction for neutral atoms, arXiv:2404.11663v1.
- [2] J. Bochmann, M. Mücke, C. Guhl, S. Ritter, G. Rempe, and D. L. Moehring, Lossless state detection of single neutral atoms, Physical Review Letters 104, 203601 (2010).
- [3] E. Deist, Y.-H. Lu, J. Ho, M. K. Pasha, J. Zeiher, Z. Yan, and D. M. Stamper-Kurn, Mid-circuit cavity measurement in a neutral atom array, Physical Review Letters 129, 203602 (2022).
- [4] S. Heußen, D. F. Locher, and M. Müller, Measurement-free fault-tolerant quantum error correction in near-term devices, PRX Quantum 5, 010333 (2024).
- [5] Daniel Crow, Robert Joynt, and M. Saffman, Improved error thresholds for measurement-free error correction, arXiv:1510.08359v5
- [6] Rui Chao and Ben W. Reichardt, Quantum error correction with only two extra qubits, arXiv:1705.02329v1
- [7] Prithviraj Prabhu, Ben W. Reichardt, Fault-tolerant syndrome extraction and cat state preparation with fewer qubits, arXiv:2108.02184

要調査

- 超伝導やシリコンスピンで取り除かなければならない異質とは何か
- 中性原子の parasitic charge とは
- 中性原子の配列をグラフ理論の点に対応させることで問題を解ける
- 中性原子の量子ビット再配列方法
- analog simulation の可能性
- nFT state preparation
- feedforward と mid-circuit measurement の違い
- Instantaneous Quantum Polynomial
- braiding で d 以上動かすとどうなるのか
- easy initialization と difficult initialization はどっちがいいのか
- toric code in magnetic field(ising model)
- bacon-shor code
- neutral and trapped ion approaches rely on light scattering for entropy removal
- 中性原子の measurement free な protocol